



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 42 41 453 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
C 23 F 4/00  
C 23 F 1/24  
H 01 L 21/31

21 Aktenzeichen: P 42 41 453.9  
22 Anmeldetag: 9. 12. 92  
43 Offenlegungstag: 16. 6. 94

DE 42 41 453 A 1

71 Anmelder:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,  
DE

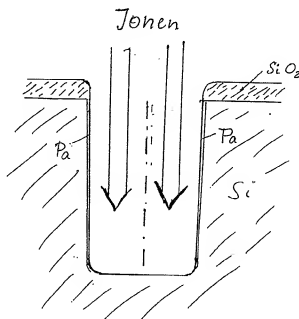
72 Erfinder:

Henkel, Heinz, 6053 Obertshausen, DE; Korec,  
Jacek, Dr.-Ing., 6082 Mörfelden-Walldorf, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Plasmaätzen von Gräben in Silizium

57 Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Plasmaätzen von Gräben in Silizium, mit einem halogenhaltigen Gasgemisch bei einem Druck von 0,05 bis 0,3 mbar, einer Hochfrequenzleistung von 100 bis 800 W. Sie besteht darin, daß jeweils nach einem Ätzschritt ein Passivierungsschritt erfolgt, durch welchen die Seitenwände des Ätzgrabens vor dem Abtragen beim nächsten Ätzschritt geschützt werden.



DE 42 41 453 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Plasmaätzen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. In der Mikroelektronik und in der Mikromechanik bestche ein wachsender Bedarf an schmalen und tiefen Ätztgräben, die mit dem Trockenätzverfahren hergestellt werden. Zum Beispiel im Bereich der Leistungshalbleiterbauelemente werden solche Gräben zur Erzeugung vertikaler MOSFET-Kanäle und zur lateralen Isolation von Funktionsmodulen in Leistungs-ICs benötigt.

Der Trockenätzprozeß (RIE = Reactive Ion Etching) findet unter Plasmabedingungen statt und besteht aus zwei Komponenten. Die chemische Komponente entspricht den chemischen Reaktionen zwischen dem geätzten Substrat und den in dem Plasma gebildeten freien Radikalen. Die Prozeßbedingungen werden so gewählt, daß ein möglichst großes Verhältnis zwischen der Ätzrate des Substrats und der Ätzrate der Ätzmaske (z. B. Photolack, Oxid oder Metall) genannt Selektivität, entsteht. Die physikalische Komponente besteht in einer Zerstäubung des Substrats durch die im Plasma beschleunigten Ionen. Da die Ionen senkrecht zur Substratoberfläche beschleunigt werden, sorgt die physikalische Komponente für einen hohen Anisotropiefaktor (Tiefen-/Breiten-Verhältnis) der geätzten Gräben. Der Anisotropiefaktor wird zusätzlich dadurch erhöht, da an den Seitenwänden abgelagerte Produkte der chemischen Reaktionen die Wände passivieren und den Ablauf weiterer Reaktionen an den Wänden hemmen.

Zum Stand der Technik gehören RIE-Prozesse, die als chemische Reagenten chlor-, fluor- oder bromhaltige Komponenten einsetzen. Die Passivierung der Seitenwände wird durch Reaktionsprodukte, wie  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{SiCl}_4$  oder  $\text{SiF}_4$ -Polymere gewährleistet (D. Behammer, W. Buchholtz, "Kontrollierte Profileinstellung von tiefen Si-Gräben mit  $\text{CBrF}_3/\text{O}_2$ -RIE-Plasmen", GME-Fachbericht Nr. 8, S. 411—416 und GME-Fachtagung "Mikroelektronik", 4.—6. März 1991, Baden-Baden, VDE-Verlag, Berlin). Der Einsatz von chlorhaltigen Reagenten (z. B.  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{SiCl}_4$ ) zum Ätzen von Silizium-Substraten ist vorteilhaft, weil er erlaubt, eine strukturierte  $\text{SiO}_2$ -Schicht als Ätzmaske zu verwenden.

Die Prozeßbedingungen (Gaszusammensetzung, Gasfluß, Druck, in das Plasma eingekoppelte elektrische Leistung und das elektrische Potential des Substrats) müssen so optimiert werden, daß bei einer hohen Si-Ätzrate nur ein kleiner Abtrag der Ätzmaske (z. B.  $\text{SiO}_2$ ) entsteht, und daß ein hoher Anisotropiefaktor der geätzten Gräben erreicht werden kann. Zum Stand der Technik gehören RIE-Prozesse, die bei einer Si-Ätzrate von 0,7 bis 1,0  $\mu\text{m}/\text{min}$  eine Si-/ $\text{SiO}_2$ -Ätzratenselektivität von 10 : 1, und ein Tiefen/Breiten-Verhältnis von geätzten Gräben von typisch 4 : 1 ermöglichen. Damit werden Tiefen von 4 bis 6  $\mu\text{m}$  erreicht. Um Grabentiefen über 10  $\mu\text{m}$  zu erzielen, müssen die Selektivität und der Anisotropiefaktor verbessert werden.

Die Schwierigkeit bei der Optimierung der Prozeßparameter besteht in der Entgegenwirkung der Maßnahmen zur Erhöhung der Ätzratenselektivität und des Anisotropiefaktors bei der Beibehaltung einer hohen Ätzrate.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer Si-Ätzrate  $> 0,7 \mu\text{m}/\text{min}$  eine Si-Maske-Ätzratenselektivität  $> 20 : 1$  und einen Anisotropiefaktor  $> 5 : 1$  zu erreichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Anspruch 1 aufgeführten Merkmale gelöst. Weiterbil-

dungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

Erfindungsgemäß wird der Ätzprozeß in zwei Schritte unterteilt: das Ätzen und das Passivieren. Diese Schritte werden in einem Prozeß abwechselnd mehrmals wiederholt.

Zur gezielten Passivierung der Seitenwände wird  $\text{N}_2$ -Plasma eingesetzt, das zur Bildung von einem  $\text{SiN}_x$ -Belag an den Wänden führt. Um den Belag am Grabenboden zu vermeiden, ist es günstig, den Passivierungsschritt unter einem niedrigeren Druck als den Ätzschritt zu führen.

Die Erfindung ermöglicht es die Prozeßparameter für den Ätzschritt im Hinblick auf die Si-Ätzrate und Selektivität gegenüber der Ätzmaske zu optimieren. Der Passivierungsschritt sorgt für einen ausreichenden Anisotropiefaktor. Der niedrigere Prozeßdruck während der Passivierung erhöht die Zerstäubungsrate am Grabenboden. Durch diese Maßnahme wird der Bodenbelag entfernt und der Grabenboden geglättet.

In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird eine auf die Si-Oberfläche durch die thermische Oxidation angebrachte  $\text{SiO}_2$ -Schicht strukturiert und als Ätzmaske mit einer Dicke von 1,5  $\mu\text{m}$  verwendet. Die Si-Oberfläche in den geöffneten Ätzenestern wird mit einem CF-Plasma vorbehandelt, um die  $\text{SiO}_2$ -Reste zu entfernen. Der Ätzprozeß wird in zwei Schritte unterteilt.

1. Ätzen:

Gase:  $\text{Cl}_2$  (36 sccm),  $\text{N}_2$  (10 sccm) und  $\text{SiCl}_4$  (18 sccm)

Druck: 0,25 mbar

Leistung: 300 Watt

Zeit: 340 Sek.

2. Passivieren:

Gase:  $\text{N}_2$  (50 sccm)

Druck: 0,12 mbar

Leistung: 300 Watt

Zeit: 120 Sek.

Der Ätzschritt ist gekennzeichnet durch geringe Seitenpassivierung und einen niedrigen Anisotropiefaktor bei einer relativ hohen Ätzrate (ca. 0,9  $\mu\text{m}/\text{min}$ ) und einer hohen Si-/ $\text{SiO}_2$ -Ätzratenselektivität (ca. 26 : 1). Der Passivierungsschritt bei einem reduzierten Prozeßdruck zeichnet sich durch eine gute Seitenwandpassivierung und einen leichten Materialabtrag am Grabenboden aus, was einen guten Anisotropiefaktor gewährleistet.

Im Prozeß werden die Schritte 1 und 2 abwechselnd mehrmals wiederholt, was zu einer effektiven Ätzrate (Grabentiefe/Gesamtprozeßzeit) von 0,82  $\mu\text{m}/\text{min}$  führt. Mit diesem Prozeß konnten Grabentiefen bis 25  $\mu\text{m}$  bei einer Grabenbreite von ca. 3  $\mu\text{m}$  erreicht werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Plasmaätzen von Gräben in Silizium, mit einem halogenhaltigen Gasgemisch bei einem Druck von 0,05 bis 0,3 mbar, einer Hochfrequenzleistung von 100 bis 600 W, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils nach einem Ätzschritt ein Passivierungsschritt erfolgt, durch welchen die Seitenwände des Ätzgrabens vor dem Abtragen beim nächsten Ätzschritt geschützt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck beim Passivieren niedriger ist als der Druck beim Ätzen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß durch jeden Ätzschritt eine Vertiefung des Grabens um 2 bis 10  $\mu\text{m}$  hervorgerufen

wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß durch jeden Ätzschritt eine Vertiefung des Grabens von etwa einer Grabenbreite bis zum 3fachen der Grabenbreite hervorgerufen wird. 5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Ätzgas eine Mischung aus  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{N}_2$  und  $\text{SiCl}_4$  verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zum Passivieren  $\text{N}_2$  verwendet wird. 10

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzvorgang 2 bis 10 Minuten dauert und der Passivierungsvorgang in einem Bruchteil dieser Zeit vorgenommen wird. 15

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck des Plasmas beim Ätzen etwa 0,25 mbar und beim Passivieren etwa 0,1 bis 0,17 mbar beträgt. 20

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

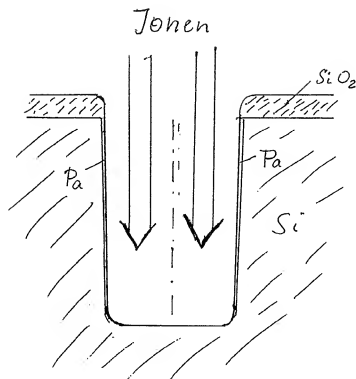
45

50

55

60

65



Figur